

## ВЛИЯНИЕ РАСХОДА ЛИНЕЙНОГО АЛКИЛБЕНЗОЛА В ПЛЕНОЧНОМ РЕАКТОРЕ СУЛЬФИРОВАНИЯ НА СКОРОСТЬ ОБРАЗОВАНИЯ ПОБОЧНЫХ ПРОДУКТОВ

И.М. Долганов, А.А. Солопова, М.А. Пасюкова, И.О. Долганова  
Научный руководитель – к.т.н., н.с. И.О. Долганова

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30, anastasiasolopova@ro.ru*

В процессе сульфирования линейного алкилбензола серным ангидридом в многотрубном пленочном реакторе, вследствие протекания побочных реакций с образованием вязких веществ, происходит их накопление и закупоривание трубок реактора, вследствие чего нарушается гидродинамический режим течения пленки и снижается выход целевого продукта. Для удаления вязких соединений в реакторе проводится его промывка водой [2].

Целью настоящей работы является исследование влияния расхода сырья на концентрацию целевого и побочного продуктов с применением метода математического моделирования.

Разработанная математическая модель позволяет количественно оценить скорости превращения углеводородов в зависимости от исходных параметров в системе при допущении о режиме идеального вытеснения. Константы скоростей химических реакций определены решением об-

ратной кинетической задачи. Предложенная модель реактора сульфирования может быть описана следующим образом:

Активность реакционной смеси определяется как  $a_j = e^{-aC_{v.c.}}$ . При  $Z=0$ ,  $C_{v.c.}=0$ ,  $\alpha=1$ ,  $a_j=1$ .

Для исследования влияния расхода реагентов, производился расчет с применением разработанной математической модели процесса по одному межпромысловому циклу. Коэффициент массоотдачи определяет интенсивность процесса переноса вещества внутри пленки и зависит от значения критерия Рейнольдса пленки жидкости и скорости газа:  $\beta_{ж} = 0,55 \cdot 10^{-6} Re_{пл}^{1/3} W_{г}^{3/2}$  [1]. На рисунке 1 приведены результаты расчетов изменения времени контакта, толщины пленки и критерия Рейнольдса от массового расхода жидкости.

Таким образом, увеличение расхода сырья, подаваемого в реактор, ведет к увеличению коэффициента массоотдачи, вследствие чего

$$\left\{ \begin{aligned} G \frac{\partial C_{\text{ЛАБ}}}{\partial Z} + G \frac{\partial C_{\text{ЛАБ}}}{\partial V} &= -k_1 a_1 C_{\text{ЛАБ}} C_{\text{SO}_3} - k_5 a_5 C_{\text{ПСК}} C_{\text{ЛАБ}} - k_4 a_4 C_{\text{ЛАБ}} C_{\text{SO}_3} - k_2 a_2 C_{\text{АБСК}} C_{\text{ЛАБ}} - k_{-2} a_{-2} C_{\text{несульф}} C_{\text{H}_2\text{O}} \\ G \frac{\partial C_{\text{АБСК}}}{\partial Z} + G \frac{\partial C_{\text{АБСК}}}{\partial V} &= k_1 a_1 C_{\text{ЛАБ}} C_{\text{SO}_3} - k_5 a_5 C_{\text{ПСК}} C_{\text{ЛАБ}} - k_3 a_3 C_{\text{АБСК}} C_{\text{SO}_3} + k_6 a_6 C_{\text{ангАБСК}} C_{\text{H}_2\text{O}} - \\ &\quad - k_2 a_2 C_{\text{ЛАБ}} C_{\text{АБСК}} - k_{-2} a_{-2} C_{\text{несульф}} C_{\text{H}_2\text{O}} \\ G \frac{\partial C_{\text{ПСК}}}{\partial Z} + G \frac{\partial C_{\text{ПСК}}}{\partial V} &= k_4 a_4 C_{\text{ЛАБ}} C_{\text{SO}_3} - k_5 a_5 C_{\text{ПСК}} C_{\text{ЛАБ}} \\ G \frac{\partial C_{\text{ангАБСК}}}{\partial Z} + G \frac{\partial C_{\text{ангАБСК}}}{\partial V} &= k_3 a_3 C_{\text{АБСК}} C_{\text{SO}_3} - k_6 a_6 C_{\text{ангАБСК}} C_{\text{H}_2\text{O}} \\ G \frac{\partial C_{\text{несульф}}}{\partial Z} + G \frac{\partial C_{\text{несульф}}}{\partial V} &= k_2 a_2 C_{\text{ЛАБ}} C_{\text{АБСК}} - k_{-2} a_{-2} C_{\text{несульф}} C_{\text{H}_2\text{O}} + k_7 a_7 C_{\text{ЛАБнепр}} C_{\text{SO}_3} \\ G \frac{\partial C_{\text{ЛАБнепр}}}{\partial Z} + G \frac{\partial C_{\text{ЛАБнепр}}}{\partial V} &= -k_7 a_7 C_{\text{ЛАБнепр}} C_{\text{SO}_3} \\ G \frac{\partial T}{\partial Z} + G \frac{\partial T}{\partial V} &= \frac{1}{C_p} (Q_1 k_1 a_1 C_{\text{ЛАБ}} C_{\text{SO}_3} + Q_2 k_2 a_2 C_{\text{ЛАБ}} C_{\text{АБСК}} + Q_2 k_{-2} a_{-2} C_{\text{несульф}} C_{\text{H}_2\text{O}} + Q_3 k_3 a_3 C_{\text{АБСК}} C_{\text{SO}_3} + \\ &\quad + Q_4 k_4 a_4 C_{\text{ЛАБ}} C_{\text{SO}_3} + Q_5 k_5 a_5 C_{\text{ПСК}} C_{\text{ЛАБ}} + Q_6 k_6 a_6 C_{\text{ангАБСК}} C_{\text{H}_2\text{O}} + Q_7 k_7 a_7 C_{\text{ЛАБнепр}} C_{\text{SO}_3}) \end{aligned} \right.$$

$$Z=0, C_i = C_i^{\text{in}}, T = T^{\text{in}}; V=0, C_i = C_i^{\text{in}}, T = T^{\text{in}};$$

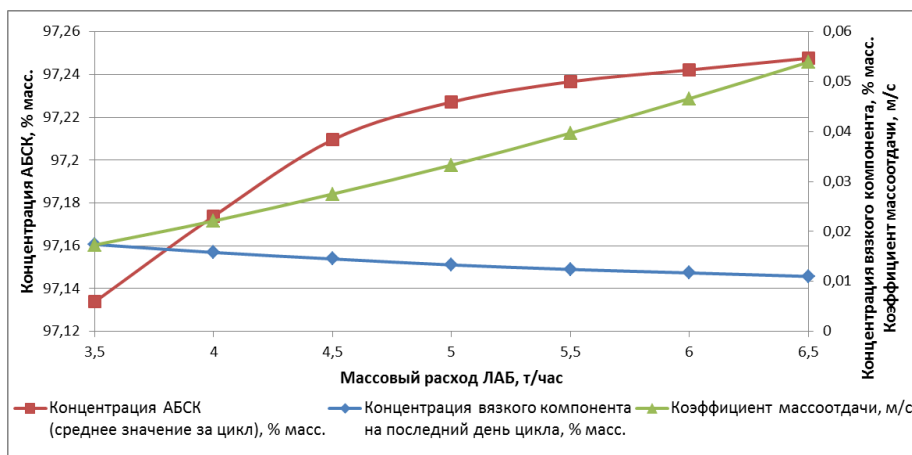


Рис. 1. Результаты расчетов

снижается концентрация высоковязкого компонента, что позволяет увеличивать продолжительность межпромысловых циклов, причем концентрация целевого продукта увеличивается.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых №МК-163.2020.3.

### Список литературы

1. Borovinskaya E.S. et al. Kinetic study and modeling of the Rh-catalyzed hydrosilylation of acetophenone in a batch reactor and in a micro-reactor // *Reaction Kinetics, Mechanisms and Catalysis*, 2011. – V.104. – №2. – P.345.
2. Dolganova I.O., Dolganov I.M., Ivanchina E.D., Ivashkina E.N. Alkylaromatics in Detergents Manufacture: Modeling and Optimizing Linear AlkylbenzeneSulfonation / *Journal of Surfactants and Detergents*, 2018. – V.21. – №1. – P.175–184.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПИРОЛИЗА УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ С УЧЕТОМ ПРОЦЕССА КОКСООБРАЗОВАНИЯ

И.М. Долганов, Н.А. Чиркина  
Научный руководитель – к.т.н., доцент И.М. Долганов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30, n.chirkina96@bk.ru

В современном мире при наличии различных возможностей моделирование набирает большую популярность, так как оно решает огромное количество вопросов за относительно непродолжительный срок. Благодаря моделированию разрабатывают и проектируют новые производства, анализируют их работу и при этом ее оптимизируют, приводя к минимуму затраты инженерного труда и других средств. Именно поэтому математическое моделирование используют для прогнозирования и оптимизации режимов и схем эксплуатации промышленных аппаратов и оборудования, в том числе в этом направлении начали изучать и процесс пиролиза углеводородного сырья еще в 70-х годах [1].

Модернизация высокотемпературного процесса пиролиза направлена в основном на развитие двух направлений – совершенствование технологии и выбор оптимальных режимов работы с использованием математического моделирования. При модернизации технологии рассматривают работу горелочных устройств, процесс запуска оборудования, выбор катализаторов и различных технологических средств, а при оптимизации режимов происходит подбор технических параметров. Благодаря своим возможностям наиболее популярны детерминированные модели, в которых происходит исследование процесса в целом, в том числе и при изменении различных технологических, в отличие от стохастических.